

⑫ 特許公報 (B2) 平2-35248

⑬ Int. Cl.⁵
G 01 D 5/38識別記号 庁内整理番号
A 7015-2F

⑭ 公告 平成2年(1990)8月9日

発明の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 光学式変位測定装置

⑯ 特 願 昭58-205956

⑯ 出 願 昭58(1983)11月4日

⑯ 公 開 昭60-98302

⑯ 昭60(1985)6月1日

⑰ 発明者 谷口 佳代子 東京都品川区西五反田3丁目9番17号 東洋ビルソニーマグネスケール株式会社内

⑰ 発明者 土谷 秀樹 東京都品川区西五反田3丁目9番17号 東洋ビルソニーマグネスケール株式会社内

⑰ 発明者 外山 正明 東京都品川区西五反田3丁目9番17号 東洋ビルソニーマグネスケール株式会社内

⑰ 出願人 ソニーマグネスケール 株式会社 東京都品川区西五反田3丁目9番17号 東洋ビル

⑯ 代理人 弁理士 永田 武三郎

審査官 津田 俊明

1

2

⑰ 特許請求の範囲

1 可干渉性光源と、この可干渉性光源から出射したビームを2分するビームスプリッタと、2分されたビームが入射される回折格子と、この回折格子による2つの1次回折光を再び上記回折格子に入射させる第1の反射器と、上記回折格子により再度回折された2つの1次回折光どうしを上記ビームスプリッタにより干渉させその干渉光を検出するための検出器とを含み、上記干渉光の干渉強度を上記検出器で測定させて回折格子の位置変化を検出するように構成したことを特徴とする光学式変位測定装置。

2 上記回折格子に対しビームスプリット側に位置する第2の反射器を有することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の光学式変位測定装置。

3 前記回折格子が格子ベクトルの方向と測定方向とを一致させた体積型ホログラムから成る特許請求の範囲第1項記載の光学式変位測定装置。

4 前記光源として半導体レーザが使用された特許請求の範囲第1項記載の光学式変位測定装置。

5 前記第1の反射器が前記回折格子の下方に配置されたことを特徴とする特許請求の範囲第1項

記載の光学式変位測定装置。

発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は、光の干渉を利用してスケールの移動5を検出するようにした光学式変位測定装置の改良に関するものである。

背景技術とその問題点

従来、移動する回折格子の位置変化を光の干渉を利用して検出するようにした光学式変位測定装置には以下のような2種類の干渉計が使用されている。

その1つは特開昭47-10034号公報に示されているような構成のもので、この干渉計は第1図に示されるようにスケールとして使用される回折格子1、一对のミラー2、3、可干渉性光源4およびフォトディテクタ5を含んでおり、入射光6に基き移動信号を作成する2つの干渉光のうちの一方は1次もしくは高次モードの回折光7Aから成り、他方は0次モードの回折光7Bから成っている。

この干渉計はスケールとして使用される回折格子の移動方向と直交する2方向の変位には無関係

に、その回折格子の格子ベクトル方法のみの変位を検出する性質を有し、回折光間の角度 180° 以内と大きくとることができるので後述の他のものよりも格子のピッチが細くとれるので分解能を上げ易い利点を備えている。また検出信号は回折格子として体積型のホログラム等の高効率の格子を使用できることから後述のものよりも大きくとれ、不要の回折光等による悪影響を防げる所以第1図において入射光6の約半分の量を信号光として得ることができる。

しかしながらこの干渉計の欠点は、光源4からの入射光の波長の変化に弱く波長の変化がそのまま測定誤差として表れ易いことである。例えば第2図に示すように、光源4からの入射光6の波長が変化すると0次モードの光の方向7Bは変化しないが1次モードの光の方向はその影響を受けて実線位置7Aから点線位置7A'へ変化し、これに伴い回転角Wも変化するようになる。よって干渉すべき2つの光ビームの間の方向が変化するので干渉計がくずれて検出信号の変調率が低下し遂には干渉信号を得るのが不可能になる。

またこの干渉計は第3図に示すように、回折格子1を格子ベクトルと直交する上下方向に対して(A)位置から(B)位置へ移動しても測定誤差が生じないという性質を有しているが、回折格子1が移動して(B)位置にあると2つの光ビームが干渉を始めるまでの光路長に変化を来たして光路差1を生ずるようになるので、 $\Delta\lambda$ の波長変化が生じたとすると $D = (\Delta\lambda/\lambda) (1/\lambda) \cdot 2 \cdot P$ の測定誤差を生ずるようになる。(なお、 λ は光源波長、Pは格子ピッチである)

よってこの測定誤差を避けるには回折格子1の位置を固定すればよいが、このようにすると回折格子1の位置移動によって回折格子1の上下動に因る光路長の変化をキャンセルさせるという性質を充分に利用することができなくなるため、実用上波長の不安定な光源を用いることができなくなる。このためこの干渉計を使用した変位測定装置では波長安定性に優れたHe-Neレーザ等が光源として採用されている。しかしHe-Neレーザは発熱量が多いため熱膨張時の影響を避ける関係で光源と干渉計とは分離して構成する必要があり、測定装置が大型化すると共に調整が難かしいという問題が生じるので実用上大変不便となる。

一方その他のものとしては特開昭57-190202号公報、特開昭57-190203号公報および実開昭57-81510号公報に示されているような構成の干渉計が知られている。これらが上記第1の干渉計と異なる点は、第1のものが1次もしくは高次モードの回折光と0次モードの回折光との間の干渉を利用して移動検出を行っているのに対し、これら第2のものはプラスとマイナスの同次回折光同士の干渉を利用して移動検出を行うという点にある。第4図はこれら第2の干渉計の構成を示すもので第1図と同一部分は同一番号で示し、8はハーフミラーである。

これら第2のものは干渉用ビームがいずれも回折光であるために、光源4からの光の波長が変化しても変化前の実線位置および変化後の点線位置で示されるように回折光7A, 7Bは共に回転角変化を起こすような経路を通るので、2つのビームの通過経路の長さを一致させておけば第1のものと異なつて検出信号が劣化したり、測定誤差が生じにくいという利点を有し、しかもそれと同様に回折格子1が格子ベクトルと直交する上下方向に移動しても測定誤差を生ずることはない。

このためこの第2の干渉計を使用した変位測定装置では光源として波長の不安定な半導体レーザ等を採用することができ、半導体レーザは前記He-Neレーザに比較して小型でしかも発熱量が少ないと利点を有している。

したがつて例えば半導体レーザを光源として用いることにより光源と干渉計との一体化を計ることができるので測定装置を小型化することができ、またこれに伴い面倒な調整を不要とすることができる。

しかしながらこの第2の干渉計の場合は、光源4からの入射光に対して検出信号が大きくとれないという欠点がある。これはプラスとマイナスの同次回折光間の干渉を利用しておる関係上、第1の干渉計のように回折効率の良い体積型ホログラムやブレーズ格子を使用することができないことに原因しているものである。第5図に示すように各々2度ずつ回折させた場合には、その最大出力(検出信号)は入射光6のパワーの20%程度であり、この場合は第1のものに比べ検出系の信号増幅率を大きくとる必要があるために測定装置の応答速度を低下させるおそれが生ずる。

また回折光と0次光の間の角度は90°以下に制限されるため格子ピッチは第1図のものよりも細かくとれないので、回折回数が同じ場合には分解能は上げにくくなる。さらに信号とは無関係の強い0次光および格子の種類によつては多くの高次光が発生し易くなるために、小型の測定装置を得る場合の障害となるおそれがある。

発明の概要

本発明は以上の問題に対処してなされたもので、可干渉性光源と、この可干渉性光源から出射したビームを2分するビームスプリッタと、2分されたビームが入射される回折格子と、この回折格子による2つの回折光が入射され再びこの回折光を上記回折格子に出射する反射器と、干渉光を検出するための検出器とを含み、上記反射器を経て再度回折された2つの回折光を上記ビームスプリッタで干渉させることによりこの干渉強度を上記検出器で測定させて回折格子の位置変化を求めるように構成して從来欠点を除去するようにした光学式変位測定装置を提供するものである。

実施例

以下図面を参照して本発明実施例を説明する。

第6図は本発明実施例による光学式変位測定装置を示す構成図で、11はスケールとして使用される回折格子12、13は一対のミラー、22、23はその他の一対のミラー、14は可干渉性光源、15はフォトデテクタ、24は上記回折格子11から出射した光ビームを2分するためのビームスプリッタ、25は上記回折格子11の法線である。

以上の構成において上記可干渉性光源14から出射されてビームスプリッタ24に入射された光16は、ミラー12に向かう光16Aとミラー13に向かう光16Bとに2分される。各光ビーム16A、16Bは上記ミラー12、13を介して法線25を挟んで等しい角度で回折格子11に入射する。回折格子11は紙面上格子ベクトルが水平方向に向くように設置され、スケールとして用いられる回折格子11の変位測定方向とその格子ベクトルの方向は一致し、上記ミラー12を経た光ビーム16Aはさらに他のミラー22に入射されると共にミラー13を経た光ビーム16Bはさらに他のミラー23に入射されるように回折されると、この時各々の入射光16

A、16Bの回折光17A、17Bの光軸は互いに他の入射光の光軸と一致するように回折される。

次にミラー22、23によって反射された回折光17A、17Bは再度回折格子11に入射するが、ここでも再び回折されてミラー22から入射した回折光17Aはミラー12へまたミラー23から入射した回折光17Bはミラー13へ各々入射され、各々ここで反射されてビームスプリッタ24に戻る。そしてこのビームスプリッタ24においてミラー12を経た光ビームの透過光とミラー13を経た光ビームの反射光の光軸が一致して干渉が行われるので、フォトデテクタ15によつてその干渉強度を検出することによりスケールとして用いられる回折格子11の変位測定が行われる。この時検出信号と回折格子の変位量とは次のように関係づけられる。

原点上にさしかかつたミラー12、13を経た2つの入射ビームの複素振幅 E_1, E_2 (時間変動項は除く)は入射角を θ とすると、

$$E_1 = A_{11} e^{iKx \sin \theta - k \cos \theta \cdot y - \phi_1} \quad \cdots(1)$$

$$E_2 = A_{21} e^{iKx \sin \theta - k \cos \theta \cdot y - \phi_2} \quad \cdots(2)$$

で表わされる。ここで k は使用光源の光の波数、 ϕ_1, ϕ_2 は各々ビームスプリッタで分割された時点を0とし、この点より回折格子へ入射するまでの光路による位相の変化を示している。

また回折格子11の透過率Tは、

$$T = \cos(Kx - \varphi) \quad \cdots(3)$$

で表わされる。ここでKは回折格子の格子ベクトル $2\pi/\Lambda$ (Λ 回折格子の波長)、 φ は格子の位相を示している。

ここで格子ベクトルKを前記回折の条件に合うように、 $K=2ksin\theta$ として上記(3)式を改めると、

$$T = \frac{e^{i(2ksin\theta - \varphi)} + e^{-i(2ksin\theta - \varphi)}}{2} \quad \cdots(4)$$

で表わされる。

さて回折光は上記 E_1, E_2 とTとの積で表わされるが各々の1次回折光をそれぞれ E_{11}, E_{21} とすると、

$$E_{11} = A_{11} \{ e^{iKx \sin \theta - k \cos \theta \cdot y - \phi_1 + \varphi} \} \quad \cdots(5)$$

$$E_{21} = A_{21} \{ e^{iKx \sin \theta - k \cos \theta \cdot y - \phi_2 + \varphi} \} \quad \cdots(6)$$

で表わされる。格子として体積型のホログラムを用いれば0次回折光と1次回折光以外の光はほとんど表われず2つの1次回折光は各々他方の入射

ビームとその進行方向が一致しておりその位相P
は、

$$P = -\phi_1 + \varphi - (-\phi_2 - \varphi) = \phi_2 - \phi_1 + 2\varphi \quad \dots (7)$$

で表わされる値だけ異なっている。

これらの回折光がミラー22, 23によって反射されて回折格子11へ入射されるまでの位相の変化を各々 ϕ_3 , ϕ_4 とすると、回折格子11へ戻つて入射する直前のビームの複素振幅 E_{12} , E_{22} は、

$$E_{12} = A_{12} \{ e^{i(k \sin \theta \cdot x + k \cos \theta \cdot y - \phi_1 - \phi_3 + \varphi)} \} \quad \dots (8)$$

$$E_{22} = A_{22} \{ e^{i(-k \sin \theta \cdot x + k \cos \theta \cdot y - \phi_2 - \phi_4 - \varphi)} \} \quad \dots (9)$$

で表わされ、再び回折格子11へ入射して回折されたビームの1次回折光の複素振幅を E_{13} , E_{23} とすると上記式(5), (6)と同様に、

$$E_{13} = A_{13} \{ e^{i(-k \sin \theta \cdot x + k \cos \theta \cdot y - \phi_1 - \phi_3 + 2\varphi)} \} \quad \dots (10)$$

$$E_{23} = A_{23} \{ e^{i(k \sin \theta \cdot x + k \cos \theta \cdot y - \phi_2 - \phi_4 - 2\varphi)} \} \quad \dots (11)$$

で表わされる。さらに1次回折光のみに注目してみると再び入射時と同経路を経て逆方向へ進んでいく波であることが理解される。

これらの波がビームスプリッタ24へ入射するとミラー12を経た光は直進し、ミラー13を経た光は反射され光軸を等しくするが、この時までの位相の変化を各々 ϕ_5 , ϕ_6 とすると干渉を始める2つのビームの複素振幅を E_{14} , E_{24} とすると、

$$E_{14} = A_{14} \{ e^{i(k \sin \theta \cdot x + k \cos \theta \cdot y - \phi_1 - \phi_3 - \phi_5 + 2\varphi)} \} \quad \dots (12)$$

$$E_{24} = A_{24} \{ e^{i(k \sin \theta \cdot x + k \cos \theta \cdot y - \phi_2 - \phi_4 - \phi_6 - 2\varphi)} \} \quad \dots (13)$$

で表わされる。

また干渉強度Iは、

$$\begin{aligned} I &= (E_{14} + E_{24}) (E_{14} + E_{24})^* \\ &= \{ A_{14}^2 + A_{24}^2 + 2A_{14} \cdot A_{24} \cos(\phi_2 + \phi_4 + \phi_6 - \phi_1 - \phi_2 - \phi_6 - 4\varphi) \} \end{aligned} \quad \dots (14)$$

で表わされる。ここで $C = (\phi_2 + \phi_4 + \phi_6 - \phi_1 - \phi_2 - \phi_6)$ はスケールとしての回折格子が移動しても変化しない定数であり、2つのビームの経路の長さを等しくとつておけば $C = 0$ となりその時の干渉強度はI、

$$I = \{ A_{14}^2 + A_{24}^2 + 2A_{14} \cos(-4\varphi) \} \quad \dots (15)$$

で表わされる。これを見るとスケールの位相変化の4倍の位相変化が干渉信号に表われる事がわかり、ここでスケールの変位量を1とすると回折格子の位相 φ は、

$$\varphi = 1 \cdot K = 1 \cdot 2k \sin \theta = 1 \cdot 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sin \theta$$

$$\dots (16)$$

で表わされ、この時干渉信号の1周期に相当する変位量Lは $2\pi = 4\varphi = 4 \cdot 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta \cdot L$ の関係から、

$$L = \lambda / 8 \cdot \sin \theta = \frac{\lambda}{4} \quad \dots (17)$$

で表わされる。

一例として $\lambda = 7800 \text{ Å}$, $\theta = 45^\circ$ に設定したとすると、上記式(17)から、 $L = 0.78 / 8 \cdot \sin 45^\circ = 0.78 / 8 \times 0.707 = 0.138 \mu\text{m}$ が得られる。

この値を目安にした場合十数分の1の分周を行うことによりおよそ1/100の変位測定が可能となる。また2つのビームの経路の長さを等しく設定すると光源の波長が変化しても各々のビームの経路での位相変化は等しくなりC=0となつて光源の波長変化に不变の干渉信号が得られ、また発振波長幅が大きく干渉性の低い光源を使用したとしてもCが小さい場合には干渉信号を得ることができる。

本発明測定装置においては、上記事実からも明らかのように、光源の波長が変化しても2つの干渉ビームの光路長は等しく変化し、結果的に光路差Cが常に0となるように構成されており、またスケール(回折格子)の上下移動によつてもこの関係が保たれるように構成されている。

第8図はその具体例を示すもので、光源14の波長が変化した場合を示し光路は点線のように変化するが、2つのビームは対称的に光路が変化するために結果的に光路長の差には変化が生じず出力端での角度変化が等しくなるため干渉計はくずれない。

なお図では2度目の回折を生ずる位置が回折格子上で移動しているが、波長変化前に比べて左右対称に変化しているためにキヤンセルされて検出信号に位相変化は生じない。

またビームスプリッタ24から出射される干渉ビームの位置が若干ずれるが、波長変化幅が小さい場合には非常に小さいのでフォトデテクタ5がその変化幅に比べて大きければなんら問題は生じない。

第9図はまた回折格子11が上下移動した場合を示し、この場合にも位置がAからBに移動することにより光路が点線のように変化しても上記波長変化の場合と同様に回折位置の変化は対称的に

行われるためにキャンセルされる。

第7図は本発明の他の実施例を示す構成図であり、一対のミラー33, 34によつて回折光を反射させてビームスプリッタ24で干渉を生じさせるように構成したものである。

第10図および第11図はこの実施例において光源14の波長変化が生じた場合および回折格子11の移動が生じた場合の例を示し、第8図および第9図と同じ理由によつて変化はキャンセルされるので問題は生じない。

本発明による測定装置の他の特徴として2つのビーム入射角 θ と回折角 θ' とが、大きさが等しいことが挙げられ、これにより2つのビームの回折が

$$ksin' - ksin'' = Kx = K \quad \dots (18)$$

から成るGrating Equationの他に、

$$kcos' - kcos'' = 0 (\because \theta = \theta') \quad \dots (19)$$

を満足させることができる。

これは2つのビームのx方向に格子ベクトルを有する格子による2つの回折がいずれもプラツク条件を満足している事を示している。よつて体積型ホログラムを使用することにより高い回折効率を上げることができる。

第12図は体積型ホログラムを用いた時のホログラム内部を示す概略図で、35は可干渉平面波、36は記録材料、37はホログラム内拡大図である。ホログラム表面に対し格子面は垂直に位置しており、材料の選択によつて数 μm の回折格子で100%近い回折効率を上げる事も可能である。また格子面が垂直になつてるのでホログラム製作中に起き易い材料変形によりおこる格子ピッチの変化が少なくなるのでスケールの製作が容易となる。

第13図は第7図の実施例の具体的な構成を示す配置図で、41は半導体レーザ、42, 43は集光用レンズ、44は偏光ビームスプリッタ、45は分波用グレーティング、46, 47, 48は $\lambda/4$ 板、49, 50は偏光板、51, 52, 53はフォトディテクタで各々sin波用、モニタ用、cos波用、54, 55はミラー、56は体積型ホログラムスケールである。

この例においては光源としては半導体レーザ41を用い、ビームスプリッタとしては偏向ビームスプリッタを用いた構成を示し、 $\lambda/4$ 板によつ

て入射ビームと信号光とを分離するようにしてい
る。また信号光はその格子ベクトルの向きがスケ
ール用ホログラムと直交するように置かれたグレ
ーティング45により3つに分波され、sin信号
とcos信号およびモニタ信号を得るようにしてい
る。

この構成によれば入射光のうち回折効率の2乗
の光が信号光として得られるため、例えは回折効
率の90%のスケールを用いれば入射光の80%の強
度を持つ信号光を得る事ができる。また半導体レ
ーザに対する戻り光がノイズの原因となる事が知
られているがこの場合はほとんど戻り光はない。
発明の効果

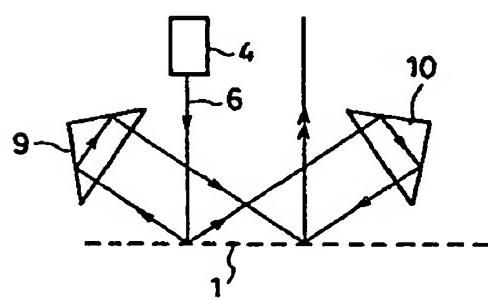
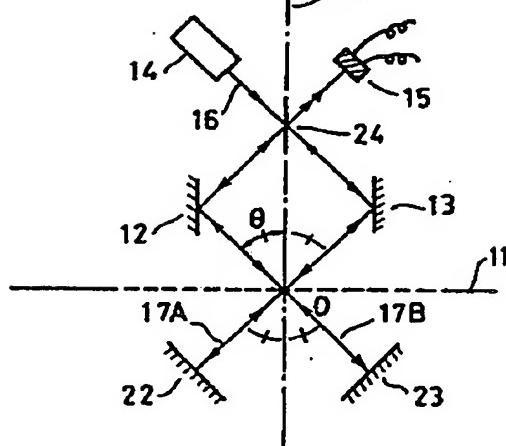
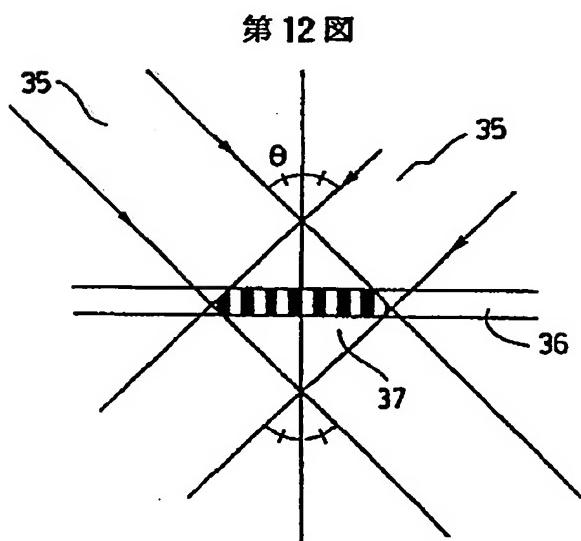
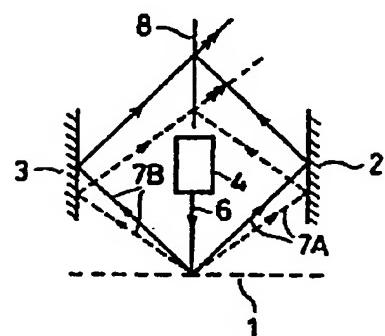
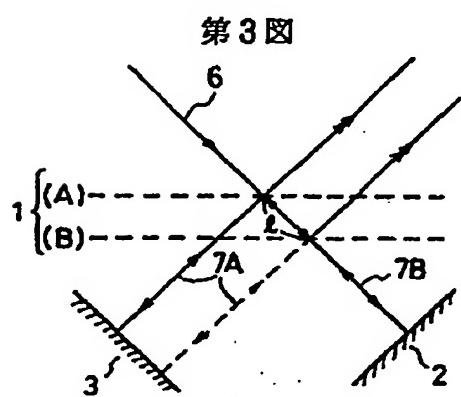
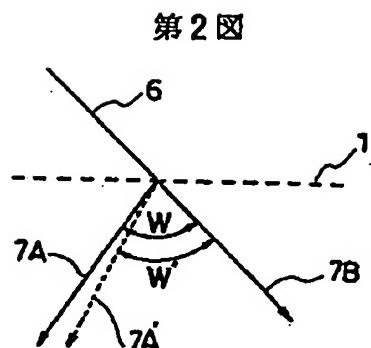
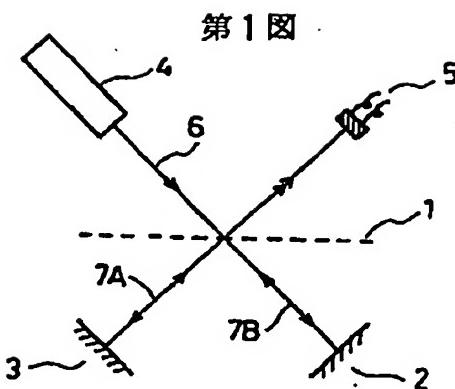
以上述べて明らかのように本発明によれば、可
干渉性光源と、この可干渉性光源から出射したビ
ームを2分するビームスプリッタと、2分された
ビームが入射される回折格子と、この回折格子に
よる2つの回折光が入射され再びこの回折光を上
記回折格子に出射する反射器と、上記2つの回折
光によるビームスプリッタにおける干渉光を検出
するための検出器とを含み、上記反射器を経た2
つの回折光を上記ビームスプリッタで干渉させ
ることによりこの干渉強度を上記検出器で測定させ
て回折格子の位置変化を求めるように構成したも
のであるから、次のような効果が得られる。

- 1 使用光源の波長の変化に対し検出信号の劣化
や測定誤差を生じない。
- 2 格子ベクトルと直交する2方向への変位に無
関係な測定を行うことができる。
- 3 体積型ホログラム等の回折効率の高い回折格
子をスケールとして使用し、良質の検出信号を
得る事ができる。
- 4 0次光と1次光間の角度を大きくとることができ
るので分解能が上がる。

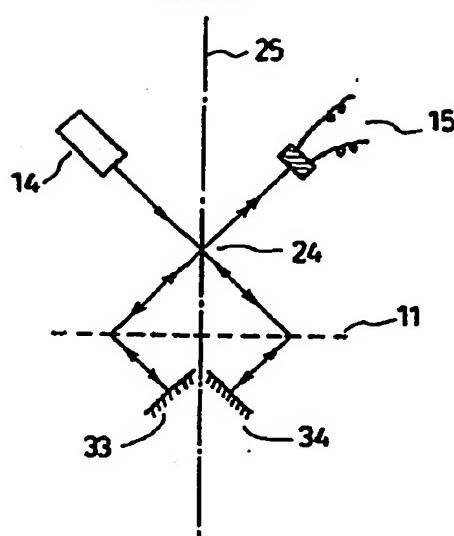
35 図面の簡単な説明

第1図乃至第5図はいずれも従来例を示す構成
図、第6図乃至第11図はいずれも本発明実施例
を示す構成図、第12図は本発明実施例を示す回
折格子の作成図、第13図は本発明実施例を示す
配置図である。

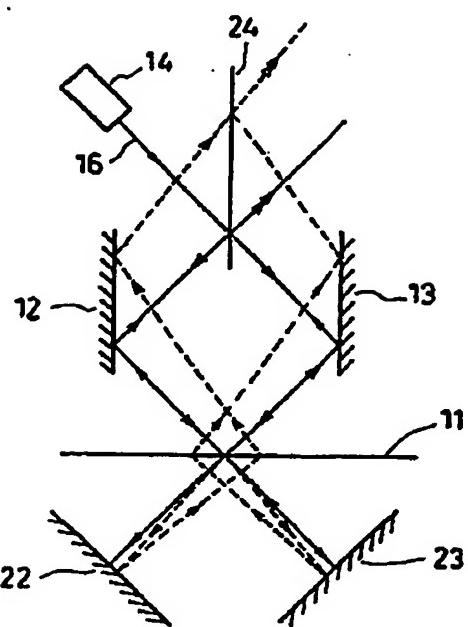
11……回折格子、スケール、12, 13, 2
2, 23, 33, 34……ミラー、14……可干
渉性光源、15……フォトディテクタ、24……ビ
ームスプリッタ。



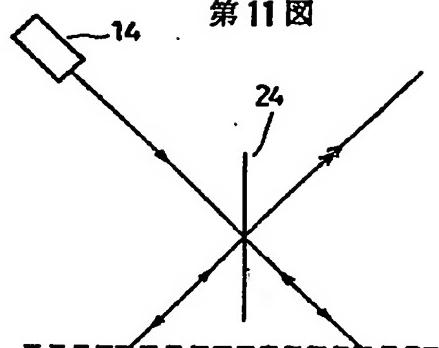
第7図



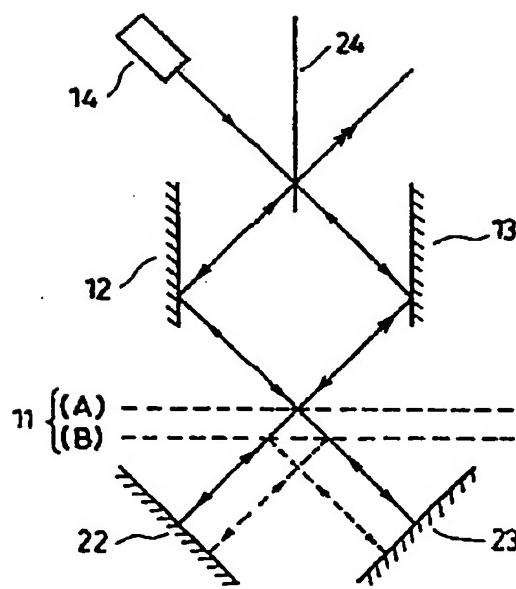
第8図



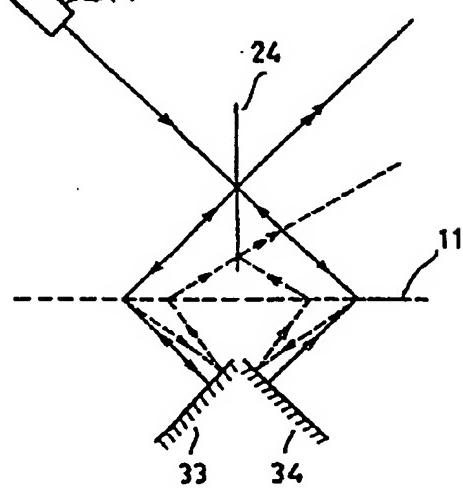
第11図



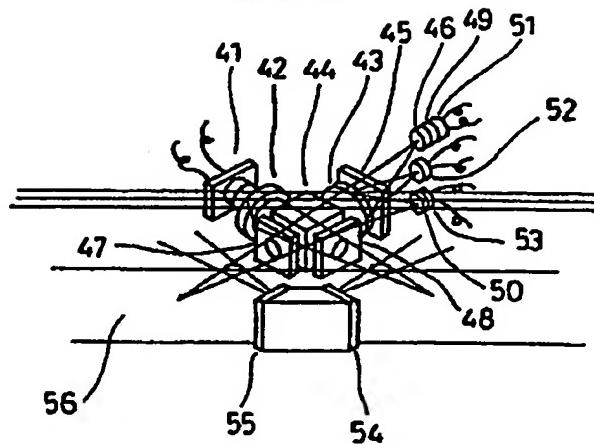
第9図



第10図



第13図



【公報種別】特許法第64条及び特許法第17条の3の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第1区分

【発行日】平成7年(1995)5月15日

【公告番号】特公平2-35248

【公告日】平成2年(1990)8月9日

【年通号数】特許公報2-882

【出願番号】特願昭58-205956

【特許番号】1875372

【国際特許分類第6版】

G01D 5/38 A 9208-2F

【手続補正書】

- 1 「特許請求の範囲」の項を「1 可干渉性光源と、この可干渉性光源から出射したビームを2分するビームスプリッタと、2分された2つのビームが異なる入射方向から回折格子の法線に対して略同じ角度で入射される透過型回折格子と、上記2分された2つのビームの回折格子による各々の1次回折光を再び上記回折格子に入射させる反射器と、上記回折格子により再度回折された2つの1次回折光どうしを上記ビームスプリッタにより干渉させ、その干渉光を検出するための検出器とを含み、上記干渉光の干渉強度を上記検出器で測定させて回折格子の位置変化を検出するように構成したことを特徴とする光学式変位測定装置。
- 2 上記透過型回折格子に対しビームスプリッタ側に位置する第2の反射器を有することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の光学式変位測定装置。
- 3 上記透過型回折格子が格子ベクトルの方向と測定方向とを一致させた体積型ホログラムから成る特許請求の範囲第1項記載の光学式変位測定装置。
- 4 上記光源として半導体レーザが使用された特許請求の範囲第1項記載の光学式変位測定装置。」と補正する。
- 2 第5欄9~20行「本発明は……提供するものである。」を「本発明の光学式変位測定装置は、このような問題点を解決するために考えられたもので、可干渉性光源と、この可干渉性光源から出射したビームを2分するビームスプリッタと、2分された2つのビームが異なる入射方向から回折格子の法線に対して略同じ角度で入射

される透過型回折格子と、上記2分された2つのビームの回折格子による各々の1次回折光を再び上記回折格子に入射させる反射器と、上記回折格子により再度回折された2つの1次回折光どうしを上記ビームスプリッタにより干渉させ、その干渉光を検出するための検出器とを含み、上記干渉光の干渉強度を上記検出器で測定させて回折格子の位置変化を検出するように構成したものである。」と補正する。

3 第5欄25, 27, 39行、第6欄5, 15, 16行、第8欄41行、第9欄7行及び第10欄41行「回折格子」を「透過型回折格子」と補正する。

4 第10欄14~34行「以上述べて……上がる。」を「以上の実施例に基づく説明から明らかのように、本発明の光学式変位測定装置によると、

1. 使用光源の波長の変化に対し、検出信号の劣化や測定誤差を生じない。
2. 格子ベクトルと直交する2方向への変位に無関係な測定を行うことができる。
3. 体積型ホログラム等の回折効率の高い透過型回折格子をスケールとして使用すれば、良質の検出信号を得ることができる。
4. 0次光と1次光間の角度を大きくとることができるので分解能が向上する。
5. 回折格子が入射面内において角度が変化しても干渉系がくずれ難いので測定精度に及ぼす影響が少ない。などの効果を奏することができる。」と補正する。